天行见物理之七 望舒九行

李轻舟[†]
(《大学科普》编辑部 重庆 401331)

2019－07－08收到
† email:shalloplee@sina.com
DOI:10.7693/wl20190709

璇穹积重霄，回运迅不停。曜灵烁神烛，望舒循九行。
—— 祝允明 《述行言情诗·其四十三》

有物浑成

有物浑成，先天地生。寂兮寥兮，独立而不改，周行而不殆，可以为天下母。吾不知其名，强字之曰道，强为之名曰大。

—— 《老子·第二十五章》

古希腊先贤偏好用球或圆之类的“浑成之物”(《朱子语类·理气》)来描述世界，这一传统可以上溯至前苏格拉底时代的自然哲学家，尤其是同样兴起于意大利南部的毕达哥拉斯学派和埃利亚学派。譬如，毕达哥拉斯学派认为：圆和球完全对称，皆为最完美的几何对象，足以彰显“宇宙即和谐”(κόσμος/cosmos)；大地当是完美的球体，位居宇宙的中心；七曜(日月五星)与诸恒星分别镶嵌在8个天球上，各自于不同平面绕地球做匀速圆周运动(即各同心天球绕不同的轴匀速转动)，“周行而不殆”。

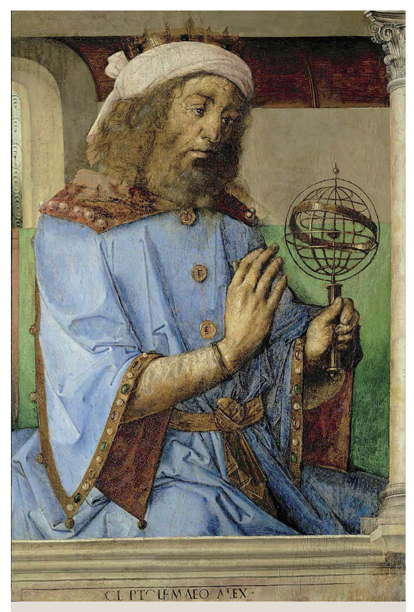


图1 手持环形球仪(类似于中国的浑仪和浑象)的托勒密(Joos van Ghent & Pedro Berruguete，1476)

毕氏门下后学菲洛劳斯(Φιλόλαος)引入了宇宙中心的火(替换宇宙中心的地球)和作为地球对立物的“安提希翁”(Ἀντίχθων)，将天球数目扩充到了毕氏学派推崇的“神圣的十”。然而，这些同心天球以及理想的匀速圆周运动还不足以刻画实测的不规则运动。

圜则九重，孰营度之？

—— 屈原 《天问》

在探讨宇宙生成的《蒂迈欧篇》(*Timaeus*)中，对毕氏学说青睐有加的柏拉图(Πλάτων)阐发了“万物周行”(circular motion of all things)的观念。从这个基本观念出发，柏拉图向众生发问：如何用规则的匀速圆周运动组合出不规则的实测天体运动？——这个问题见于新柏拉图学派的辛普里丘(Simplicius of Cilicia)为亚里士多德(Ἀριστοτέλης)的《论天》(*De Caelo*)所作的注释。

毕达哥拉斯和柏拉图两大学派的传人欧多克斯(Εὔδοξος)把天球数增加到27个，其中诸恒星所在1个，日月各3个，五星各4个。欧多克斯的弟子卡里普斯(Κάλλιππος)又将天球数增加到34个，其中诸恒星所在1个，月球、太阳、水星、金星和火星各5个，木星和土星各4个。

完善同心球模型的是不满足于描述现象的亚里士多德。为了进一步揭示天体运动现象背后的机制，亚里士多德将天球设想为第五元素“以太”(aether)构成的实体，通过相互作用，由外而内，层层传动。每层天球有“不被推动的推动者”(unmoved mover)作为“目的因”(final cause)，诸天之外有一个“第一推动者”(prime mover)推动最外层天球“恒星天”(sphere of fixed stars)。此外，亚里士多德为了抵消天体附加天球对下一个天体运动的影响，在卡里普斯模型的基础上增加了22个反向运转的天球，其中太阳、水星、金星和火星各4个反向天球，木星和土星各3个反向天球，天球总数达到56个。

越来越多的天球仍然不能消解

同心球模型的先天缺陷——各天体到地球的距离(即地心体系中的天体公转半径)是不变的。这与当时可观测的诸多现象不符，比如天体运行过程中的亮度变化、日全食和日环食两种情况中的月影大小不同等等。

始终条理

集大成也者，金声而玉振之也。金声也者，始条理也；玉振之也者，终条理也。始条理者，智之事也；终条理者，圣之事也。

——《孟子·万章下》

为回应柏拉图问题，欧几里德(Εὐκλείδης，出身柏拉图学派)缔造的亚历山大学派别开生面。欧氏门下的阿波罗尼奥斯(Ἀπολλώνιος)与异军突起的喜帕恰斯(Ἵππαρχος)先后引入了三个全新的几何结构：本轮(epicycle)、均轮(deferent)和偏心轮(eccentric)——万事俱备，只欠一位集大成者来“始终条理”。

活跃于公元2世纪的克劳狄乌斯·托勒密(Κλαύδιος Πτολεμαῖος)，亚历山大学派乃至整个古希腊数理天文学的集大成者，在十三卷皇皇巨著《数理天文论集》(*Syntaxis Mathematica*)[1]中，超越了柏拉图对匀速圆周运动的执念，引入“匀速对称点”(equant point，或许得自“安提希翁”的启发)，组装起一套更为精密的几何结构(图2)。

借助这套精密的几何模型，通过调整地球与匀速点的距离、本轮与均轮的半径比、本轮与均轮运动转速、本轮平面与均轮平面夹角直至叠加一个又一个本轮，托勒密及其后继者可以组合出各种天体运动与实测结果相比较——这会带来没完没了的圆和繁琐的计算，但这点儿代价根本拦不住历代追随者的热情。

大哉乾元，万物资始，乃统天。……至哉坤元，万物资生，乃顺承天。

——《易传·彖传》

《数理天文论集》后来常被称作《大论集》(*Magna Syntaxis*)，至古希腊的文明火种东传，工于巧思的阿拉伯学者将之奉为“伟大之至”(al-majisti)的经典，遂得名《至大论》(*Almagest*)。一千四百多年后，那些“没完没了的圆”将由尼古拉·哥白尼(Nicolaus Copernicus)继承，而“匀速对称点”将假约翰内斯·开普勒(Johannes Kepler)之手重获新生。1822年，近代法兰西科学黄金时代的缔造者之一，让—巴普蒂斯特·约瑟夫·傅里叶(Jean-Baptiste Joseph Fourier)出版《热的解析理论》(*Théorie analytique de la chaleur*)[2]。自此，托勒密及前代古希腊学者以简单周期性圆周运动度量实际天体运行的悠久传统，终于在傅里叶手中变换为更普适的现代形式——以周期性解析世界的“傅里叶分析”(Fourier analysis)。

然而，到了晚期的《行星假说》(*Planetary Hypotheses*，主要流传于阿拉伯世界)[3]，能以数学之力转动日月星辰的托勒密也难免举棋不定：天球(同心或偏心)、本轮、均轮、偏心轮，这没完没了的球或圆，到底是几何表示，还是物理实在?

月御何往

日御谓之羲和，月御谓之望舒。

——张揖《广雅·释天》

在托勒密忙于用“没完没了的圆”度量周天时，与之并世而立的东汉历算家正以“九道”(亦称“九行”或“九规”)追步月御何往。

西汉以《太初历》取代传承自先秦的“四分历”，“发谋于元封，启定于元凤，积三十年，是非乃审”(《续汉书·律历志》)，而“四分历”在东汉的复兴，“亦于建武，施于元和，讫于永元，七十余年，然后仪式备立，司候有准”(同上)，其发端乃是预报弦望月食，即对月球运动的探究。汉章帝元和改历(公元85年)以降，“九道法”(“九道术”)一路伴随着东汉群儒(也就是东方的Μαθηματικός/Mathematicus)围绕天文历算展开的较量。

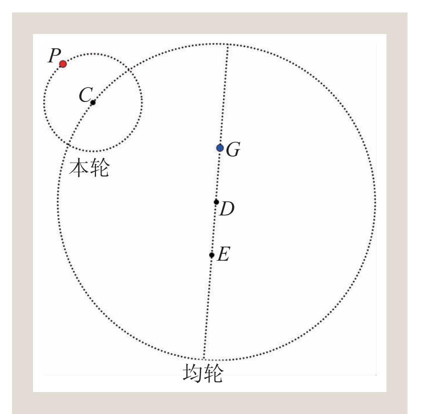


图2 托勒密模型示意图：P为天体；C为本轮圆心；G为地球；D为均轮圆心；E为匀速对称点，G、E关于D对称。天体P相对于本轮圆心C做匀速圆周运动，本轮圆心C在均轮上做圆周运动且相对于匀速对称点E保持速率不变



图3 让—巴普蒂斯特·约瑟夫·傅里叶

每有讼者，百寮会议，群儒骋思……

——《续汉书·律历志》

汉和帝永元年间(公元89年到公元105年)，“复令史官以‘九道法’候弦望，验无有差跌”(同上)。汉安帝延光二年(公元123年)，中谒者亶诵反对《元和四分历》以庚辰为历元(庚申为上元)，上言当用合于图谶的甲寅元(与“古六历”中的《殷历》相同)，河南梁丰则言当复用《太初历》。能为天文历算的公车司马令张衡[4]同尚书郎周兴(东汉末年名将周瑜的曾祖父)一道，多次与亶诵和梁丰辩论，“参案仪注，考往校今，以为‘九道法’最密”(同上)。汉安帝下诏，着公卿详议。太尉刘恺等上奏侍中施延等人的意见，支持甲寅元，而博士黄广、大行令任佥议支持“九道法”。河南尹祉、太子舍人李泓等四十人指出用甲寅元“二十四气宿度不相应者非一”(同上)，又认为“用‘九道’为朔，月有比三大二小，皆疏远”(即用“九道法”定月会产生连续三个大月和连续三个小月的情形，同上)，故而力主起于图谶的《元和四分历》“最得其正，不宜易”(同上)。刘恺等八十四人讨论后，又主张恢复《太初历》。最终，尚书令陈忠上奏，先驳斥“归福《太初》，致咎《四分》”一派“不以成数相参，考真求实，而泛采妄说”的“漏见曲论”，又引贾逵据东汉天文实测改冬至日躔于斗宿二十一度四分一，明言《太初历》(刘歆的《三统历》)“迂阔不可复用”，主张“不可任疑从虚，以非易是”(同上)。安帝纳其言，终止了改历讨论。后来在汉顺帝汉安二年(公元143年)的历法讨论中，尚书侍郎边韶亦提及刘歆以图谶推广“九道”，但此“九道”当指《三统历》中的“日有九道”(《汉书·律历志》)。

陈忠在奏议中提到，自己与主张“九道法”最密的张衡和周兴辩难，指出“前以为‘九道’密近，今议者以为有阙，及甲寅元复多违失，皆未可取正”(《续汉书·律历志》)。这或许是因为“九道法”原为史官旧术，“废而不修”(同上)，实际上是交食理论尚不完备及日行迟疾(太阳视运动的不均匀性)尚未发现所致[5]。到东汉末期的灵帝熹平年间(公元172年到公元178年)，曾任治历郎的宗整上“九道术”，“诏书下太史，以参旧术，相应”(同上)。太子舍人冯恂负载计算校验，“恂亦复作‘九道术’，增损其分，与整术并校，差为近”(同上)。太史令单飏上奏，主张用冯恂之术检验弦望，“然而加时犹复先后天，远则十余度”(同上)。

九道非实

黄道一；青道二，出黄道东；赤道二，出黄道南；白道二，出黄道西；黑道二，出黄道北。日，春东从青道，夏南从赤道，秋西从白道，冬北从黑道。

——《河图帝览嬉》

描述月行的“九道”可能源自两汉之际流传的谶纬图箓(主要描述日行)以及西汉大儒刘向所作的《五纪论》。据东汉班固的《汉书·律历志》记载，“至孝成世，刘向总‘六历’，列是非，作《五纪论》”，西晋司马彪的《续汉书·天文志》中有“成帝时，中垒校尉刘向，广《洪范》灾条作五纪皇极之论，以参往行之事”。所谓“五纪”，属“洪范九畴”(天赐上古圣王立国安民之大法，即《今文尚书·洪范》中所云“天乃锡禹洪范九畴，彝伦攸叙”，其四为“协用五纪”)，“一曰岁，二曰月，三曰日，四曰星辰，五曰历数”(《今文尚书·洪范》)，即五种授时模式。在《五纪论》中，刘向附会易数、五行(五色、五方)诸说，论“九道”有言“青道二出黄道东，白道二出黄道西，黑道二出北，赤道二出南”，又“立春、春分，东从青道；立夏、夏至，南从赤道。秋白冬黑，各随其方”(沈约《宋书·历志》)。“月行九道”的明确表述出自班昭和马续先后补缀的《汉书·天文志》[6]，即“日有中道，月有九行。中道者，黄道，一曰光道。……月有九行者：黑道二，出黄道北；赤道二，出黄道南；白道二，出黄道西；青道二，出黄道东。立春、春分，月东从青道；立秋、秋分，西从白道；立冬、冬至，北从黑道；立夏、夏至，南从赤道。然用之，一决房中道。青赤出阳道，白黑出阴道。若月失节度而妄行，出阳道则旱风，出阴道则阴雨。……日之所行为中道，月、五星皆随之也”。张衡在《浑仪注》(收录于瞿昙悉达《开元占经·天地名体·天体浑宗》)中亦说“日与五星行黄道，无亏盈。月行九道：春行东方青道二；夏行南方赤道二；秋行西方白道二；冬行北方黑道二。四季还行黄道，故月行有亏盈。东西南北，随八节也”。

永远四年(公元92年)，贾逵在论傅安等用黄道度日月弦望时，曾引刘向《五纪论》中的“日月循黄道”，承贾逵问询的典星待诏姚崇、井毕等十二人，亦提及“星图有规法，日月实从黄道”(《续汉书·律历志》)，似与“月行九道”不合。南梁武帝朝的重臣沈约在其所撰

《宋书·历志》中提出质疑，“前世诸儒依图纬云‘月行有九道’。故画作九规，更相交错，检其行次，迟疾换易，不得顺度”。五代后周官至枢密使的王朴则更不客气，他在进呈《钦天历》的奏表中说“九道者，月轨也，其半在黄道内，半在黄道外，去黄道极远六度。……自古虽有九道之说，盖亦知而未详，空有祖述之文，全无推步之用”(薛居正《旧五代史·历志》)。众说纷纭，莫衷一是，这暗示了困扰托勒密之疑难，也困扰着东方的天文历算家：汉儒念念不忘之“九道”，到底是描述月行偏离黄道(“月失节度而妄行”)之相的几何表示，还是内蕴五行循环终始之理的物理实在?

为东西天文历算家决疑解惑者，当推北宋沈括，他在《梦溪笔谈·象数二》中给这场近千年的聚讼下了判词：“天有黄赤二道，月有九道。此皆强名而已，非实有也。亦由天之有三百六十五度，天何尝有度？以日行三百六十五日而一期，强谓之度，以步日月五星行次而已。日之所由，谓之黄道；南北极之中，度最均处，谓之赤道。月行黄道之南，谓之朱道；行黄道之北，谓之黑道。黄道之东，谓之青道；黄道之西，谓之白道。黄道内外各四，并黄道为九。日月之行，有迟有速，难可以一术御也。故因其合散，分为数段，每段以一色名之，欲以别算位而已。如算法用赤


图4 沈括塑像(作者摄于北京古观象台)

筹、黑筹，以别正负之数。历家不知其意，遂以谓实有九道，甚可嗤也。”——以“强名”为“实有”，至今不绝，如之奈何?

参考文献

[1] Heiberg J L. Claudii Ptolemaei Opera quae exstant omnia, I, Syntaxis mathematica, 2 pts., Leipzig, 1898-1903

[2] Fourier J. Théorie analytique de la chaleur. Paris: Firmin Didot Père et Fils, 1822

[3] Heiberg J L. Claudii Ptolemaei Opera quae exstant omnia, II, Opera astronomica minora, Leipzig, 1907.70-106



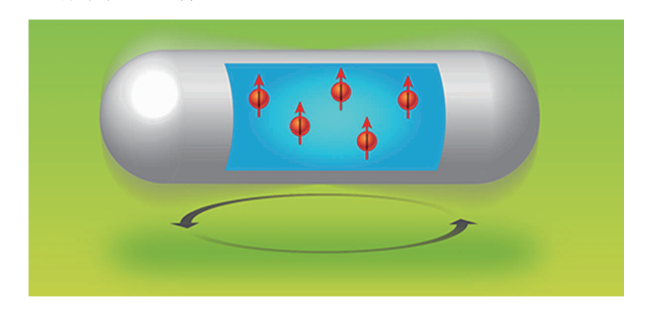
[4] 孙文青. 张衡年谱. 北京：商务印书馆，1956. 88

[5] 陈久金. 九道术解. 自然科学史研究，1982，(2)：131

[6] 班昭，出身扶风班氏，班彪之女，班固、班超之妹，曾为宫廷女师，教授儒经兼天文算术，号“曹大家”，一度与闻政事，开启东观修史的传统，堪与亚历山大学派之女杰希帕提娅(Υπατία)比肩；马续，出身扶风马氏，马援从孙，与贾逵并称“贾马”的马融之兄，善《九章算术》。详见：朱维铮. 班昭考. 中华文史论丛，2006，(2)：7

高速旋转能够磁化水中氢核

将一根金属棒旋转到足够高的转速能够产生自发磁化现象，电子自旋都指向相同的方向。纽约大学Tycho Sleator的团队考虑，能否用类似方法将脑组织样品中的电子极化，从而增强成像能力。最开始他们将水为主要成分的样品高速旋转，以使电子极化。尽管成像实验没有成功，Sleator 和纽约大学的 Mohsen Arabgol继续探索，他们想了解如果将水高速旋转，是否能使得核自旋的取向一致，而不仅仅是电子。



他们的实验结果展示了这种效应。将直径2 mm长8 mm的空芯棒内充满水，然后高速转动。使用核磁共振技术(NMR)测量由于旋转导致的水磁化。当旋转速度超过4000转/每秒时，Sleator 和 Arabgol 观察到在NMR小磁化效应的基础上，水的磁化强度增加了1%。当转速达到13500转/每秒时，磁化效果提高到3%。

1915年Samuel Barnett发现了高速旋转电子产生的效应，被命名为Barnett效应。100多年后，这个团队展示的结果可称为“核”Barnett效应。正是由于近年来发展的超高速旋转材料技术才使得这种新效应得以实现。

(朱 星 编译自 *Physics*, May 2, 2019)